II. インテリジェントな車両システム

キーワード

電気車両, AI 応用技術, 自動運転, 再粘着制御, モニター

正 員 望 月 旭

(株)東芝 交通事業部

1. はじめに

列車の運行には列車乗務員のほか、駅員・列車司令員、地上設備保守員など多くの人々が携わっている。車両に限ってみても運転士・車掌のほか車両の検査員・清掃員など多くの技術・技能者が高度の技術・技能を発揮して車両を運転し、車両を健全な状態に維持している。これらの技術・技能者がその技術・技能の修得するために教育・訓練に多くの時間を費やしている。

運転中のトラブルに対する処置は瞬時の判断を必要とする場合が多く、運転士・車掌とも厳しい訓練を重ねている。車両の検査・修繕にも各段階においてマニュアルが整備されているが、劣化が徐々に進行する場合など、検査係や修繕技術者の判断に委ねられている場面がしばしば起きている。また車両の新技术導入により新しい現象も発生し、難しい推敲や調査が必要な場合が多い。

こうした技術・技能者がすでに修得した技術・技能の知識を機械に置き換えて、技術・技能者の負担を少しでも軽くして、さらに高度の技術・技能を発揮したり修得するように支援するのが AI 応用技術である。さらに乗務員や検査係の要員面で処置が困難な現象に対して、彼らに代わって把握し判断することも AI の役割であろう。

このような要望は AI 技術の応用が始まるとともに鉄道の多くの分野でも適用が試みられたことが報告⁽¹⁾されているが、今日でもまだ十分でなく、AI 応用技術の研究開発が進められている⁽²⁾。

2. 乗務員支援システムにおける AI 技術の応用

蒸気機関車や電気機関車の乗務員は機関士と言われたように、高度の技術と激しい労働を必要とした。電車では単に運転士と呼ばれているが、蒸気機関車時代の電車運転士に比べると、最近の電車では高度な技術と広範囲の知識がますます必要となっている。さらに電車運転が広範囲に及び一人の運転士が運転する路線がますます広がっている。これらのために運転士の必要とする知識は拡大する一方で、負担が増加している。この運転士の知識を補い、支援する

Prospect of Application of Artificial Intelligence to Electric Railways.

II. Intelligent Rolling Stock Systems

By Asahi Mochizuki, Member(TOSHIBA)

ためにコンピュータを利用するシステムが働き始めている。以下に代表的な例を紹介する。

(1) 空転・滑走再粘着システム

電気機関車では機関士は主電動機の電流計で加速電流を見ながら、空転を起こさないよう注意してノッチを上げ（主電動機の直列抵抗を1段づつ短絡して端子電圧を高めて速度を上げる作業）、動輪に空転を体感すると適宜ノッチを下げるとともに、砂を撒いて空転を止め、それを確認して、さらにノッチを上げる作業をしている。

電車の加速電流はリレーによる自動進段で制御され、運転士は何も配慮しなくても、昔は空転などは発生しなかった。電車の重量が重く主電動機のトルクが小さかったためである。しかし最近では電車重量は軽くなる一方で、主電動機のトルクは大きくなって、雨天ではしばしば空転するようになった。運転士は加速状態から空転を感じることはできるが、多数の主電動機の中から空転している動輪を知ることはいし、たとえ判ったとしても、機関車のようには制御できない。

そこで機関士と同じように空転を検知し、空転の程度を判断して、ノッチ進段を止めたり、ノッチオフする操作を行う空転検知再粘着システムが採用されるようになった。初期のシステムや単純なシステムではリレー回路で処理しているが、新幹線電車や最近の通勤電車や高速特急電車です誘導電動機を使ったシステムでは、コンピュータを使って高度な再粘着システムを構築している。機関士の技能を取り込んだ AI 応用技術の典型的な例であるといえる。

この再粘着システムは、最近の列車の高速化に伴って必須となる非常ブレーキ距離の短縮のために特に重要なシステムになっている。微少な空転・滑走をいち早く認識し、瞬時に空転・滑走程度に見合った適正なトルクを制御する装置として、人間の能力を超えた一層のインテリジェントなシステムに進んでいる。その一例としてさらに早い再粘着のために、空転・滑走発生時の粘着力を推論してトルク制御するシステムも開発されている⁽³⁾⁽⁴⁾。

(2) モニター・ナビゲーション・システム

運転士は電車を操作する知識だけでなく停車駅、停車時刻などの他に駅構内配線、信号位置、分岐器位置や曲線位置とそれらの速度制限などの知識を必要とし、さらに電車故障時の応急処置のために運転する車両の機能・構造など

の知識も持たなければならない。

その上、新幹線電車ばかりでなく普通鉄道の電車も活躍する範囲が広い地域に広がり、さらに列車によって変化する停車駅や停車時刻の確認は運転士の大きな負担になりつつある。運転士の負担を軽減し、車両のトラブルの発生にも余裕をもって対応できる支援体制がモニタリング・システムやナビゲーション・システムである^{(5) (6)}。

モニタリング・システムは電車の状態を常時監視するシステムであるが、監視して得た情報を、運転士や車掌に必要なときに必要な情報を選択して表示するようになっている。また故障が発生するとその情報を発生直前から記録して原因の追究を容易にするだけでなく、故障を診断して、場合によっては自動的に処理し、修繕の指示も行う。

ナビゲーション・システムでは線路及び当該列車の進路や速度、停車駅や停車時刻などの情報を表示したり、前方を監視する運転士に音声でも注意をうながす警告も行う。これらは始まったばかりで機械に監視される運転士にとって本当に支援となるのかまだ確定していないが、様々な評価により今後適切なシステムに発展して行くと期待される。

(3) 自動運転システム

自動運転ATOシステムは地下鉄などで一人乗務を行う条件のひとつとして比較的是やい時期から実用化されてきた。このシステムに熟練運転士の運転技法を教え込んだATOシステムは仙台地下鉄で実用化され、運転中に刻々と変わる状況に応じて柔軟性の高い制御を行うが、その後コストパフォーマンスが向上するにしたがって、徐々に利用路線が広がっている^{(7) (8)}。

(4) 空調制御システム

最近の空調制御システムでは単に「冷やす」または「温める」でなく、年間を通じて連続して適正な室温を維持するために、可変周波数インバータを電源とするクーラーとファジー制御を組み合わせ、連続的に温度制御を行っている例がある。基準温度をベースに湿度と輻射熱から体感基準温度を算出し、それに室温及びその変化率から必要とする空調能力変更量を推論して空調装置を制御する方式である⁽⁹⁾。通勤電車等は単純な制御で十分であるが、長距離用列車ではこうしたきめ細かい制御も必要になりつつある。

3. 車両システムにおけるAI技術の応用

高速化にともない一般に乗心地は低下するが、これを補うために車両システムにAI技術を応用した乗心地向上の技術開発が進んでいる。

(1) 振子制御

曲線通過速度を向上すると超過遠心力が増加して乗心地を低下させるので、遠心力を打ち消す振子制御が行われている。日本の方式は曲線の位置等を車両に記録しておいて、緩和曲線の入口の手前50mから、円曲線半径とカントと列車速度に見合った適正な車体傾斜角と傾斜角速度を計算して、1両毎に制御する方式を採用して成功している。

実際の円曲線や緩和曲線が始まる位置もカントも列車の走行によって少しずつ変化するので、線路図から曲線情報を入力しただけでは十分でない場合が多い。これを改善するために学習機能を付加する開発が行われている⁽¹⁰⁾。

(2) 車両動揺アクティブ制御

乗心地に大きな影響のある車両振動は1～2Hzの左右振動である。新幹線電車ではこれを少なくするために軌道整備や車両の台車で苦心しているが、車両振動を積極的に抑制するアクティブ制御が試みられた⁽¹¹⁾。このシステムは厳密に言えば車両動揺を予知する必要がある、特定の地点での繰り返し振動を認識して制御することが必要である。

新幹線車両の動揺管理は定期的に検査要員で行っているが、これを各車両に加速度センサーを取り付けて車両の不具合による動揺であることを判別して警報を発するシステムを試みた例がある。しかし信頼性の高い安価なセンサーがなくて実用化に至っていない。

(3) アクティブ制御のステアリング台車

曲線での車輪とレールとの横方向の接触圧力（横圧）は高速化で増加するので、これを軽減するためにアクティブなステアリング台車も試みられている^{(12) (13)}。ステアリング台車は様々な方式があり各所で試験されているが、アクティブなステアリングでは振子制御のように線路の変化に応じた学習機能の組み込みが期待される。

(平成7年10月23日受付)

文 献

- (1) 長沢:「鉄道における知識工学の応用」日本機械学会誌、第89巻、第815号、1986.10. P1203
- (2) 宮本:「鉄道車両に関する研究の動向」鉄道総研報告、Vol. 9, No. 8, '95. 8. P1.
- (3) 喜多、丸山、熊野:「ファジー制御を適用したインバータ電気車の高粘着制御」電気学会全国大会講演論文集8. 平成5年3月. P8-235
- (4) 佐藤、久富:「新しい通勤用インバータ車両システム」鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集1994. 11. P317.
- (5) 藤原ほか5名:「E1系新幹線電車用モニタ装置」鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集1994. 11. P279.
- (6) 上原、河村:「在来線高速電車用乗務員支援システム」鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集1994. 11. P291.
- (7) 長、八野、齊藤、仲:「500系新幹線電車用運転支援装置の概要」鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集1994. 11. P272.
- (8) 宇佐美:「名古屋地下鉄桜通線のワンマン運転支援設備」電気学会交通・電気鉄道研究会資料1994. 5. 12. P1～10
- (9) 藤原ほか5名:「E1系2階建新幹線電車の空調システム」鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集1994. 11. P325.
- (10) 西村、鴨、新田:「車両情報制御システム」東芝レビュー1995. Vol. 50. No. 1. P15
- (11) 吉江、島本:「500系新幹線電車における車体傾斜と振動制御システム」電気学会交通・電気鉄道研究会資料1993. 12. 7. P155
- (12) 目時、吉川、山田、勝又、仲山、日野:「操舵台車制御システムについて」電気学会交通・電気鉄道研究会資料1994. 9. 8. P47
- (13) 日本機械学会編:「鉄道車両のダイナミクス（車両のセミアクティブ制御）」電気車研究会1994. 12

望 月 旭 (正員) 1960年慶應義塾大学工学部電気工学科卒。
1960年日本国有鉄道入社。電気車の検修及び設計に従事し、1990年東芝入社、現在交通事業部技監。
[写真省略]